

**Багатосенсорна система дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП)
на базі двох безпілотних літальних апаратів (БпЛА) з машинним навчанням (МН)**

Забезпечує розпізнавання ВНП з ймовірністю не менше 80% на площі обстеження не менше 1000 га

Концепція

Багатосенсорна система дистанційного виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП) призначена для дистанційного виявлення вибухонебезпечних залишків війни (ВЗВ) на великих площах (не менше 1000 гектарів) з ймовірністю виявлення не менше 80%. Вона базується на використанні двох безпілотних літальних апаратів (один для «важкого навантаження» (магнітний датчик) та один для «легкого навантаження» (тепловізійні та відео- камери) для одночасного використання) з інтегрованими / встановленими датчиками та алгоритмами машинного навчання (МН), які забезпечують комплексний збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Система поєднує багатосенсорний підхід (фото-, відеозображення та вимірювання температури та магнітних аномалій поверхні, що досліджується) з високоточним позиціонуванням та хмарними обчисленнями для створення інтерактивних карт забруднення ВЗВ (точне позиціонування з вказанням координат місцезнаходження виявлених та розпізнаних ВНП, маркування їх типу, назви). Карта має забезпечити доказову базу для подальшого процесу прийняття рішень щодо операцій з гуманітарного розмінування (тип, необхідні засоби, заходи безпеки, логістика, обмеження, тощо).

Алгоритм роботи системи:

1. Планування місії (Планувальник + ГІС)
2. Збір даних (відео, теплові, магнітні)
3. Обробка на борту (попередній аналіз, фільтрація)
4. Передача даних (Starlink та D-RTK)
5. Аналіз машинного навчання (розпізнавання ВНП, побудова карти)
6. Візуалізація результатів (інтерактивна карта, звіт)

Архітектура системи

- **Рівень 1: 2*БпЛА + датчики** (магнітометр, тепловізор, камера).
- **Рівень 2: Модуль інтеграції апаратного та програмного забезпечення** + програмне забезпечення для інтеграції датчиків.
- **Рівень 3: Позиціонування та зв'язок** (D-RTK 2 + Starlink для передачі даних).
- **Рівень 4: Блок штучного інтелекту** (планувальник місій + ноутбук з графічним процесором).
- **Рівень 5: Хмарні сервіси** (програмне забезпечення для машинного навчання + сервери з графічними процесорами для аналізу та картографування).

Основні компоненти системи:

1. Два Платформи БпЛА для дистанційного обстеження/транспортування датчиків:

1.1. Комплект БпЛА з максимальним корисним навантаженням щонайменше 2,7 кг (**DJI Matrice 300 RTK** або аналог); максимальний час польоту не менше 55 хвилин; максимальна злітна вага не більше 9,0 кг; максимальна швидкість польоту не менше 23 м/с; максимальний опір вітру не менше 15 м/с; максимальна висота підйому не менше 7000 м; оснащений панеллю керування з дисплеєм розміром не менше 5,5 дюймів та роздільною здатністю 1080p, а також часом роботи дистанційного керування не менше 4,5 годин; з дальністю передачі сигналу до 15 км (FCC) / 8 км (CE); здатний встановлювати до 65 535 точок маршруту (Waypoint); з вбудованим модулем RTK; з робочою температурою від -20°C до +50°C та класом захисту не менше IP45; з 10 акумуляторними батареями (**TB60** або аналог) ємністю не менше 5935 мАг та напругою не менше 52,8 В; включає інтелектуальну станцію заряджання акумуляторів (**BS65 Intelligent Battery Station** або аналог), здатну одночасно зберігати вісім інтелектуальних польотних акумуляторів (TB60 або аналог) та чотири інтелектуальні акумулятори дистанційного керування, з можливістю одночасної зарядки кількох різних акумуляторів;

1.2. Комплект БПЛА (**DJI Mavic 3T** або аналог), оснащений всенаправленою системою огляду вгору, вниз та по горизонталі; має максимальну злітну масу не більше 1050 г; максимальну швидкість підйому, не менше 6 м/с (звичайний режим), 8 м/с (спортивний режим); максимальну швидкість зниження, не менше 6 м/с (звичайний режим), 6 м/с (спортивний режим); максимальну швидкість польоту (на рівні моря, без вітру) 15 м/с (звичайний режим); вперед: 21 м/с, вбік: 20 м/с, назад: 19 м/с (спортивний режим); максимальний опір швидкості вітру 12 м/с; максимальну висоту зльоту над рівнем моря, не менше 6000 м (без корисного навантаження); максимальний час польоту (без вітру), не менше 45 хвилин; максимальний час зависання (без вітру), не менше 38 хвилин; максимальну дальність польоту, не менше 32 км; Максимальний кут тангажу 30° (звичайний режим) та 35° (спортивний режим); Максимальна кутова швидкість 200°/с; з точністю зависання: вертикальне: ±0,1 м (з системою візуального зору); ±0,5 м (з GNSS); ±0,1 м (з RTK); горизонтальне: ±0,3 м (з системою візуального зору); ±0,5 м (з високоточною системою позиціонування); ±0,1 м (з RTK); Діапазон робочих температур: від -10° до 40° С; пульт дистанційного керування з екраном не менше 5,5 дюймів та роздільною здатністю не менше 1920*1080 пікселів; оснащений системою навігації та безпеки GNSS: GPS + Galileo + BeiDou + GLONASS (ГЛОНАСС активний з RTK), модуль RTK інтегрований або підключений; комплексні датчики перешкод (APAS 5.0), ActiveTrack 5.0 та Advanced RTN (оптимізований маршрут повернення); з **ширококутною камерою** – сенсор: 1/2-дюймовий CMOS; ефективні пікселі: 48 МП; об'єктив: поле зору – 84; еквівалентна фокусна відстань: 24 мм; діафрагма: f/2.8; фокусування: від 1 м до ∞; діапазон ISO: 100-25600; витримка: електронний затвор – 8-1/8000 с; максимального розміру зображення: 8000×6000; режими фотозйомки: покадрова – 12 МП/48 МП; зйомка з часом – 12 МП/48 МП; JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 с; панорама – 12 МП (необроблене зображення); 100 МП (зшите зображення); роздільна здатність відео: H.264; 4K: 3840×2160@30 кадрів/с; FHD: 1920×1080@30 кадрів/с; Бітрейт: 4K: 85 Мбіт/с; FHD: 30 Мбіт/с; Підтримувані формати файлів: Формат фото – JPEG; Формат відео – MP4 (MPEG-4 AVC/H.264); **Телекамера** – Матриця: 1/2-дюймова CMOS, Ефективні пікселі: 12 МП; Об'єктив: FOV: 15; Еквівалентна фокусна відстань: 162 мм; Діафрагма: f/4.4; Фокусування: від 3 м до ∞; Діапазон ISO: 100-25600; Витримка – Електронний затвор: 8-1/8000 с; Максимальний розмір зображення: 4000×3000; Формат фото: JPEG; Формат відео: MP4 (MPEG-4 AVC/H.264); Режими фотозйомки: Покадрова: 12 МП; 3 таймером: 12 МП; JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 с; Розумна зйомка в умовах низької освітленості: 12 МП; Роздільна здатність відео: H.264; 4K: 3840×2160@30 кадрів/с; FHD: 1920×1080@30 кадрів/с; Бітрейт: 4K: 85 Мбіт; FHD: 30 Мбіт/с; Цифровий зум: 8x (56-кратний гібридний зум); **Тепловізійна камера** – Тепловізор: Неохолоджуваний мікроболометр VOx ; Крок пікселя: 12 мкм ; Частота кадрів: 30 Гц; Об'єктив: DFOV – 61°; Еквівалентна фокусна відстань – 40 мм; Діафрагма – f/1.0; Фокус – від 5 м до ∞; Еквівалентна різниця температур шуму (NETD): ≤50 мК@F1.0; Метод вимірювання температури: Точковий вимірювач, вимірювання площі; Діапазон вимірювання температури: від -20° до 150° С (режим високого коефіцієнта посилення) та від 0° до 500° С (режим низького коефіцієнта посилення); Палітра: Гарячий білий/Гарячий чорний/Відтінок/Червоний залізо/Гаряче залізо/Арктика/Медичний/Фульгурит/Веселка 1/Веселка 2; Формат фото: JPEG (8-біт); R-JPEG (16-біт); Роздільна здатність відео – 640×512@30 кадрів/с; Бітрейт – 6 Мбіт/с; Формат відео: MP4 (MPEG-4 AVC/H.264); Режими фотозйомки: Покадрова – 640×512; Зйомка за часом – 640×512; JPEG - 2/3/5/7/10/15/20/30/60 с; Цифровий зум – 28x; Довжина хвилі в інфрачервоному діапазоні – 8-14 мкм ; Точність вимірювання температури в інфрачервоному діапазоні – Високий коефіцієнт посилення: ±2°С або ±2% (використовуючи більше значення); Низький коефіцієнт підсилення: ±5°С або ±3% (використовуючи більше значення); має 8 акумуляторних батарей у комплекті типу LiPo 4S (**DJI Mavic 3 Intelligent Flight Battery** або аналог) ємністю не менше 5000 мАг ; робоча температура: -10°С ... +40°С; оснащений пультом дистанційного керування з дальністю передачі сигналу до 15 км (FCC) / 8 км (CE); постачається із зарядною станцією для акумуляторів, яка може заряджати кілька акумуляторів.

2. **Зовнішній магнітний сенсорний модуль (магнітометр)** – спеціалізований пристрій для дистанційного вимірювання магнітного поля (**SENSYS MagDrone R3** або аналог), що живиться від літій-іонного акумулятора 11,1 В ємністю не менше 1950 мАг з робочим діапазоном температур від -20°С до +50°С; вага з літій-іонним акумулятором не більше 820 г; загальна споживана потужність не більше

500 мА; розміри трубки датчика (Ш х Г х В) не більше 1070 х 22 мм; **флюксейт (FGM3D/75** або аналог) з 2 датчиками, розташованими горизонтально, паралельно; діапазон вимірювання $\pm 75\ 000$ нТл; кількість осей датчика не менше 3; відстань між центральними точками датчика не більше 1000 мм; рівень шуму при 1 Гц [рТ / (Гц)]: 10 рТ < датчик М1 = 50 рТ та 10 рТ < датчик М2 = 30 рТ; має **реєстратор даних** з живленням до 50 мА; оснащений внутрішнім дротовим входом від датчика; інтерфейс користувача реалізований за допомогою кнопки ввімкнення/вимкнення + запуску/зупинки та світлодіодного індикатора стану; частота дискретизації – 250 Гц; внутрішня пам'ять - не менше 8 ГБ; фізичні розміри реєстратора даних (Ш х Г х В) не більше 230 х 128 х 43/73 мм.

3. Модуль інтеграції апаратного та програмного забезпечення для інтеграції різних датчиків на БПЛА та реалізації складних сценаріїв польоту (**UgCS SkyHub 3** або аналог), живиться від акумулятора БПЛА з вхідною напругою 12-60 В, вихідною напругою: 9 / 12 / 15 / 18 В, до 5 А та додатково: +5 В та +12 В на комунікаційних портах для датчиків; має інтерфейси: UART щонайменше до 4; RS-232 щонайменше 2; GPIO щонайменше 4 пари; USB щонайменше 2х USB 2.0; Ethernet 10/100 Мбіт; Wi-Fi: дводіапазонний 802.11 b/g/n/ac та Bluetooth: 5.0 (BLE); обчислювальний модуль на платформі: Raspberry Pi Compute Module 4; CPU Cortex-A72 (ARM v8), 64-бітний, до 1,5 ГГц; ОЗП: 8 ГБ; Флеш-пам'ять: eMMC 32 ГБ; ОС: Ubuntu Server 21.04; механічні параметри, розміри не більше –112 х 84 х 34 мм та вага не більше 195 г (без кріплень), ~215–220 г з кріпленнями; діапазон робочих температур від –25°C до +50°C.

4. Обчислювальний блок на базі портативного персонального комп'ютера Laptop зі штучним інтелектом (для навчання та обробки нейронних мереж), реалізованого на базі портативного ноутбука з дискретною відеокартою з характеристиками не нижче: процесор Intel® Core i7-13650HX, 14С (6Р + 8Е) / 20Т, ядро Р до 4,9 ГГц, ядро Е до 3,6 ГГц, 24 МБ; категорія ПК зі штучним інтелектом; відеокарта NVIDIA® GeForce RTX™ 5070 8 ГБ GDDR7, Boost Clock 2347 МГц, TGP 115 Вт, 798 AI TOPS; чіпсет Intel® HM770; 2х 16 ГБ пам'яті SODIMM DDR5-4800; два слоти пам'яті DDR5 SODIMM, з підтримкою двоканального режиму та можливістю розширення до 32 ГБ DDR5-4800; SSD-накопичувач M.2 2242 PCIe® 4.0x4 NVMe® ємністю 512 ГБ; Два слоти для накопичувачів M.2 2280 PCIe® 4.0 x4; з підтримкою зберігання до двох накопичувачів, 2 твердотільних накопичувачі M.2 • твердотільний накопичувач M.2 2242 об'ємом до 1 ТБ кожен; аудіочіп, що забезпечує звук високої чіткості (HD), кодек Realtek® ALC3287; вбудовані стереодинаміки потужністю 2 Вт х2, оптимізовані за допомогою Nahimic Audio; мікрофон; 5,0-мегапіксельна камера з електронним затвором; акумулятор ємністю 60 Вт*год; адаптер живлення 245 Вт; чіп штучного інтелекту LA1.

5. Елементи, що забезпечують, позиціонування із заданою точністю, передача даних та зв'язок із серверами/хмарним сховищем :

5.1. Високоточна базова станція GNSS (Глобальної навігаційної супутникової системи) (**D-RTK 2** або аналог), що забезпечує точність горизонтального позиціонування ± 1 см + 1 ppm, вертикального позиціонування: ± 2 см + 1 ppm, здатна підтримувати багаточастотні сигнали GNSS: GPS L1/L2, GLONASS L1/L2, Galileo E1/E5a, BeiDou B1/B2, з частотою оновлення позиціонування: 1 Гц, 2 Гц, 5 Гц, 10 Гц, 20 Гц; сумісна з БПЛА, що виконують дистанційне дослідження (пункт 1), портативна; захищена від перешкод та польових умов; живиться від літій-іонного акумулятора ємністю не менше 4920 мАг, що забезпечує до 10 годин роботи; діапазон зовнішнього джерела живлення: 10,5 - 28 В; Wi-Fi та Bluetooth; дальність радіопередавача до 10 км за ідеальних умов; вбудована пам'ять до 16 ГБ; ступінь захисту від вологи: IP67; діапазон робочих температур від -20°C до +55°C, вага (з батареєю): ~1,2 кг.

5.2. Комплект обладнання для доступу до глобальної супутникової інтернет-системи від SpaceX (Starlink або аналог), яка використовує тисячі супутників на низькій навколоземній орбіті (LEO) для забезпечення високошвидкісного інтернету з низькою затримкою. Типова швидкість завантаження становить від 50 до 250 Мбіт/с, а затримка — від 20 до 50 мс. Термінал користувача включає плоску антену з автоматичним наведенням та Wi-Fi-роутери, які потребують приблизно 50–75 Вт електроенергії.

6. **Елемент живлення (BLUEETTI AC200P або еквівалент)** – зарядна станція акумулятора потужністю 2000 Вт з потужним інвертором змінного струму для безперервної роботи 2000 Вт та пікової потужності 4800 Вт має ємність 2000 Вт*год, що дозволяє забезпечувати енергією обладнання.

7. **Інфраструктура – доступ до графічних процесорів (GPU)** для обробки великих даних та карт розмінування.

Використання машинного навчання / штучного інтелекту для створення карти розмінування, реалізоване:

1) Усі необхідні дані, попередньо зібрані для машинного навчання та штучного інтелекту, навчені розпізнаванню ВЗВ, можуть аналізувати в режимі реального часу дані зі стандартних дронів за допомогою заводських камер та промислових магнітометрів.

2) Обробка зображень та інфрачервоного випромінювання з метаданими, виявлення мін та ВЗВ на кількох зображеннях одночасно, а також на картах магнітних аномалій, з точним відображенням знахідок у системі координат та інтерактивній карті.

Доступ до серверів з графічними процесорами для аналізу даних з БпЛА та розпізнавання ВВП за допомогою нейронних мереж на площі 1000 гектарів, інженерна підтримка та обслуговування серверів.

8. Програмне забезпечення:

8.1. Планувальник місій – Mission Planner: програмне забезпечення для наземного керування, розроблене для планування, моделювання та виконання місій автономних БпЛА, що дозволяє користувачам визначати траєкторії польоту, налаштовувати корисне навантаження датчиків (магнітометр, георадар, камери, тощо) та контролювати телеметрію в режимі реального часу. Платформа повинна підтримувати інтеграцію з даними GIS, що дозволяє точно планувати місії з урахуванням рельєфу місцевості для таких завдань, як картографування, інспекція або виявлення мін.

8.2. ПЗ для здійснення польотів з урахуванням рельєфу місцевості – True Terrain Following (TTF): ліцензована технологія, яка дозволяє БпЛА підтримувати точну висоту над землею за допомогою радіолокаційних або лазерних висотомірів, не покладаючись на цифрові моделі рельєфу, підтримуючи польоти з урахуванням рельєфу місцевості на висотах до 0,5 м та швидкостях до 20 м/с.

8.3. Програмне забезпечення штучного інтелекту для обробки даних – розроблена нейронна мережа для візуального розпізнавання ВЗВ з використанням БпЛА, карт теплових та магнітних аномалій.